

Milan BROŽ¹, Jiří MÁLEK² a týmy seismického experimentu³

DOUPOVSKÉ HORY – REFRAKČNÍ PROFILY 30.06.2008

DOUPOVSKÉ HORY MTS. – REFRACTION PROFILES 30 JUNE 2008

Abstrakt

Doupovský vulkanický komplex vytváří Doupovské hory v západní části Českého masívu. Detailní geologické a geofyzikální studie této oblasti dosud chybí. Tuto skutečnost zlepšuje seismologické měření provedené v červnu 2008. Refrakční profily byly rozmístěny mezi 4 odstřely v lomech, které se nachází ve vulkanickém komplexu. Prvotní výsledky ukazují, že vulkanický komplex bazických hornin tvoří těleso o mocnosti cca dva kilometry a že jeho horní hranice leží v hloubce okolo jednoho kilometru pod mořem.

Abstract

The Doupov volcanic complex forms the Doupovské hory Mts. in the western part of the Bohemian Massif, Czech Republic. Its creation in the Tertiary was closely related to the opening of the nearby Ohre Rift (Eger Rift). The diameter of the complex is about 30 km. Based on borehole and xenoliths data, relatively small thickness of the volcanic rocks, probably less than about 1 km, is indicated. On the contrary, previous geophysical measurements indicate much thicker surface volcanic structure.

For several reasons, detailed geological and geophysical studies of this interesting region are still lacking. The situation improves as seismic measurements were performed there in June 2008. Refraction profiles were deployed between four blasts in quarries, which are situated at the edge of the volcanic complex.

Preliminary interpretation of observed data includes P-wave seismic tomography giving the 3D velocity distribution down to a depth of three kilometres and, in particular, resolving the form of the bottom boundary of volcanic rocks. The first results suggest that beneath the whole volcanic complex the basaltic rocks form flat approximately 1.5 kilometre thick body in the depth of about 2 kilometres.

¹ Ing. Milan Brož, CSc., Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, Praha 8, e-mail: mbroz@irsm.cas.cz

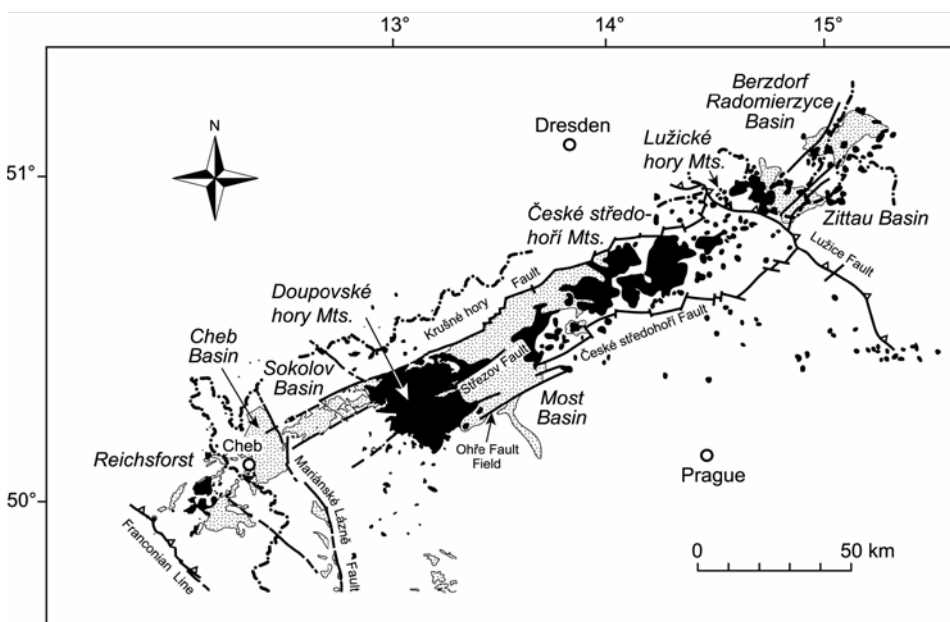
² RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.,
V Holešovičkách 41, Praha 8, e-mail: malek@irsm.cas.cz

³ ÚSMH AV ČR, v.v.i. - Jan Valenta, Petr Kolínský, Renata Gaždová, Jaroslav Štrunc,
Petr Hanzal, Oldřich Novotný, Libor Žanda, Johana Brokešová, Lukáš Čermák
GFÚ AV ČR, v.v.i. - Jan Zedník, Alena Boušková, Pavla Hrubcová, Petr Jedlička,
Bohuslav Růžek, Mirek Novotný, Josef Kotek,
ČGS – Zuzana Skácelová, Bedřich Mlčoch,
Vrtné a trhací práce Bílina – Milan Těšitel, Jan Pavuk, Milan Kočí

Úvod

Seismický projekt výzkumu Doupovských hor byl řešen v rámci grantového projektu Grantové agentury AV ČR č. A300460602 "Model svrchní kury oharského riftu a jeho okolí". V rámci tohoto projektu se provádějí seismická měření v širším okolí řeky Ohře, jenž je z geologického hlediska unikátním regionem. Toto speciální profilové seismické měření bylo provedeno pro poznání hlubší struktury Doupovských hor (obr. 1). Tyto práce nebyly doposud nikdy provedeny, neboť všechny dosavadní profily procházely mimo tuto oblast anebo ji mapovaly jen v málo měřicích bodech. Výjimkou bylo několik bodů měření při mezinárodním projektu SLICE 2003, na který tyto profily Doupovskými horami bezprostředně navazují.

Dne 30.6.2008 byl provedeno profilové seismické měření, o kterém zde podáváme stručnou technickou informaci. Provedený experiment využíval geofyzikální odpaly v pěti blízkých kamenolomech. První zpracované výsledky poskytují představu o možnostech našeho příspěvku k poznání stavby Ohářeckého riftu v této oblasti a upřesnění znalostí jeho geneze.



Obr. 1 Dispozice Doupovských hor v oblasti severozápadních Čech a popis geologických útvarů Ohářeckého riftu (Cajz, 2004)

Geologie Doupovských hor (Skácelová, Mlčoch, Rapprich)

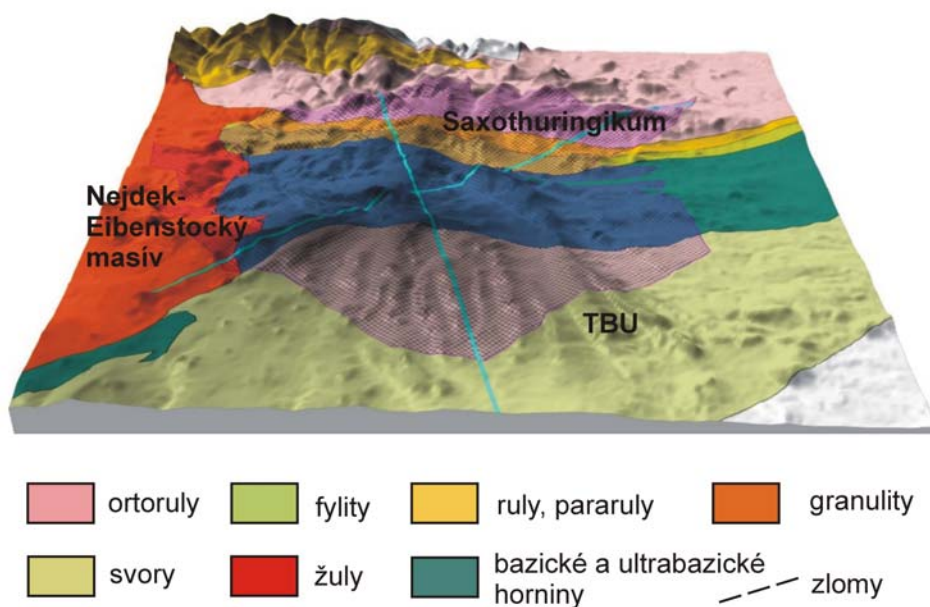
Oblast Doupovských hor reprezentují na povrchu především horniny třetihorního vulkanismu. Ty byly dříve interpretovány jako erozní relikty rozlehlého stratovulkánu s centrální kalderou v Doupově. Dnešní výzkumy ukazují, že se jedná o složitý vulkanický komplex s mnoha přírodními kanály. Mocnost vulkanických hornin v současné době pravděpodobně nepřesahuje 500 m, část vulkanických produktů byla po svém vzniku denudována.

Vulkanická aktivita na území Doupovských hor začala během svrchního eocénu erupcemi strombolského typu. Vyvržený pyroklastický materiál (tufové pyroklastické proudy – ignimbrity) s mocností až 100 m se nahromadil v těsné blízkosti zdrojů.

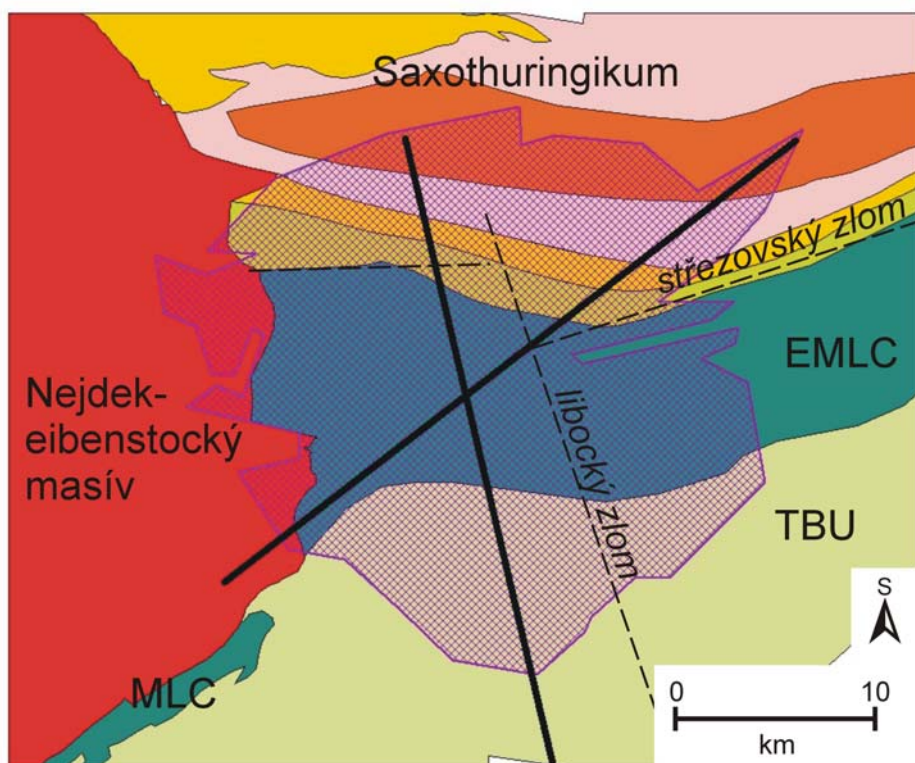
V oligocénu až spodním miocénu dominovala efuzivní vulkanická aktivita (strombolského a havajského charakteru) doprovázená lávovými výrony z mnoha přírodních kanálů.

Hlavními vulkanickými horninami Doupovského vulkanického komplexu jsou alkalické bazické až ultrabazické horniny (foidity, olivinické foidity, částečně tefrity, bazanity a trachyty). V centrální části jsou zastoupeny ijolity, essexity a syenity, které mohou tvořit větší intruzivní těleso. Informace o horninách krystalinika v podloží Doupovských hor jsou získány především z xenolitů a vrtů, v západní a severní části také z výchozů. Na JV jsou pod vulkanickými horninami uloženy také permokarbonské sedimenty s mocností do 100 m, které jsou součástí výplně žatecké deprese.

Vulkanický komplex Doupovských hor překrývá křížení dvou významných tektonických linií – střezovského zlomu ve směru JZJ-SVS a libockého zlomu ve směru SSZ-JJV. Horniny krystalinika jsou v podloží Doupovských hor zastoupeny na severu metamorfity saxothuringika (fylity, pararuly, svory, ortoruly a granulity), které se podél střezovského zlomu stýkají s bazickými až ultrabazickými horninami rozsáhlého tělesa ekvivalentu mariánskolázeňského komplexu. To tvoří velkou část krystalického podloží v jižní části Doupovských hor. Z jihu zasahují pod Doupovský vulkanický komplex také částečně horniny tepelsko-barandienské jednotky (svory). Výraznou hranici ze západu tvoří granity nejdecko-eibenstockého masívu, které vycházejí na povrch v údolí Ohře u Kyselky. Hloubka krystalinika je od několika desítek na Z a SZ. až po stovky metrů na JV (max. hloubka ve vrtu Mašťov je 956 m). Geologická struktura krystalinika v podloží Doupovských hor s vyznačením seismických profilů v 3D modelu současného reliéfu je uvedena na obr. 2. Geologické schéma podloží pak na následujícím obr. 3.



Obr. 2 Geologická struktura krystalinika v podloží vulkanického komplexu Doupovských hor (fialová šrafa) v 3D modelu současného reliéfu



Legenda:

ortoruly	fylity	ruly, pararuly	granulity
svory	žuly	bazické a ultrabazické horniny	zlomy

Obr. 3 Geologické schéma krystalinika v podloží vulkanického komplexu Doupovských hor s vyznačením seismických profilů.

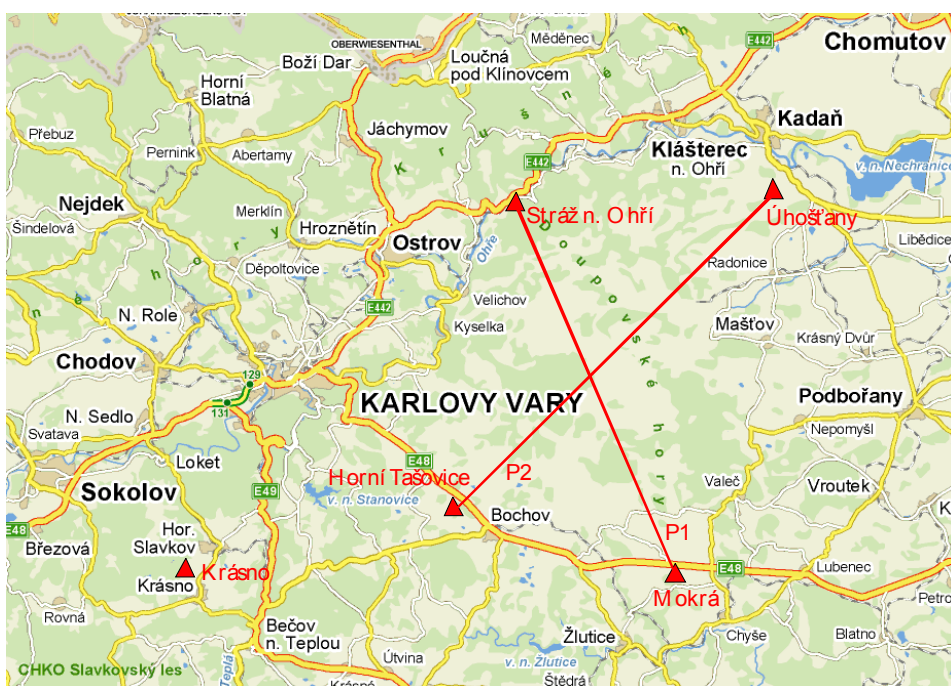
Technická realizace profilových měření.

Pro vybuzení seismických vln bylo provedeno pět speciálních odpalů, které byly situovány na okrajích sledovaného území v lokalitách těžebních prostorů kamenolomů. Záznamy seismických vln byly provedeny na 30-ti měřicích stanovištích umístěných zhruba podél dvou seismických profilů, na jejichž koncích se nacházely místa čtyř uvedených odpalů. Pátý odpal byl situován jižněji ve vzdálenější lokalitě kamenolomu Krásno (obr 4).

Lokality kamenolomů byly: Úhošťany, Stráž n Ohří, Mokrá, Tašovice a Krásno. Použitá hmotnost náloží byla 200 až 400kg. Nálože byly uloženy ve 2 až 4 vrtech hloubky 12 až 30 m (tabulka 1). Roznět náloží byl mžikový. Na místech odpalů byl speciálními seismickými aparaturami (Bumb Recordery typu BR3) měřen čas odpalu s přesností na 2 ms. Záznam času byl prováděn jak dlouhovlnným přijímačem DCF77,

tak satelitním GPS. Z hlediska nejmenší úrovně seismického průmyslového rušení byly odpaly provedeny v podvečerním čase mezi 18. a 19. hodinou s časovým odstupem 10 minut.

Na seismických profilech byly osazeny seismické aparatury. Body měření byly mezi sebou vzdáleny cca 3km a byly rozmístěny na profilech P1 a P2 které jsou znázorněné na obr. 4. K záznamu seismických vln byly použity aparatury Gaia se snímači LE3D (Geofyzikální ústav AV ČR) a aparatury BR3 se snímači SM6 -3D (Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR). Záznam byl prováděn nepřetržitě vždy od okamžiku umístění aparatury na měřicí bod a ukončen až při sběru aparatur po provedení všech odpalů.



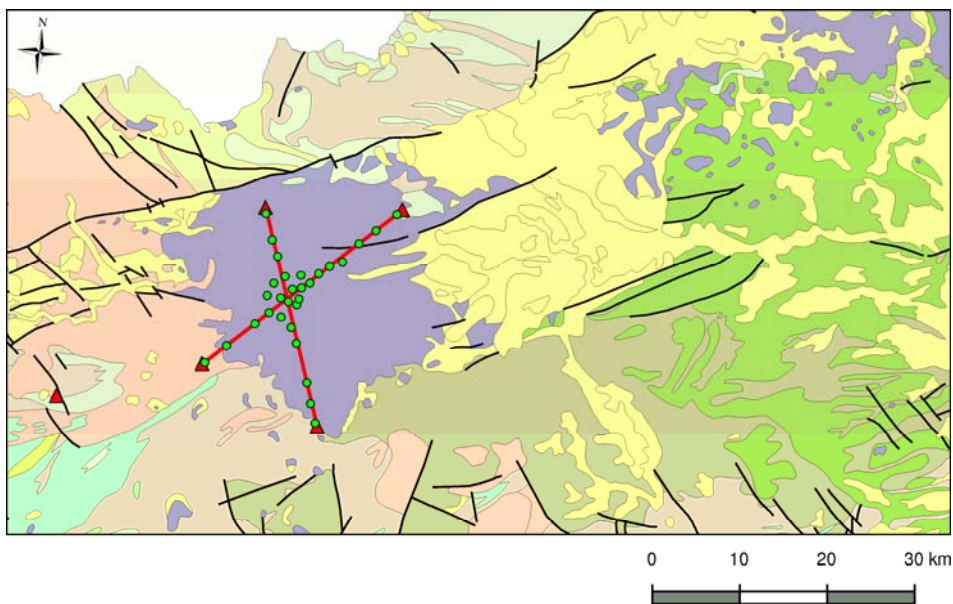
Obr. 4 Seismické profily P1 a P2 procházející Doupovskými horami. Trojúhelníky označují místa odpalů.

Popis parametrů odstřelů

Výběr kamenolomů byl proveden s maximální pečlivostí vzhledem k dosažení co nejoptimálnějších rozložení svazku seismických paprsků v celém prostoru Doupovských hor. Pro profily P1 a P2 byly vybrány kamenolomy Mokrý – Stráž nad Ohří (P1) a Úhošťany – Horní Tašovice (P2).

Na provedení odstřelů byly na rozdíl od běžných těžebních odstřelů kladeny speciální požadavky. Především musely být všechny nálože, umístěné ve 3-4 vrtech pro každý odstřel, odpáleny ve stejném čase formou mžikového odstřelu. Pro dosažení požadavku, aby většina energie trhaviny byla spotřebována na vybudění seismické vlny a ne k rozrušení okolního kameniva, bylo nutné provést speciální ucpávku těchto cca

30metrových vrtů kombinací několika šarží kameniva až do hloubky 15m. Úspěšný výsledek je charakterizován tím, že nedochází k podstatnému porušení terénu v místě odstřelu (obr. 6). Vzhledem k velikosti zájmového území a možnosti legislativy byla zvolena velikost náloží odstřelů mezi 200 až 400 kg průmyslové trhaviny podle možnosti skutečného naplnění do předem připravených vrtů.



Obr. 5 Seismické profily P1 – P2 s rozmístěním měřicích bodů v geologické mapě širšího okolí Doupovských hor.



Obr. 6 Povrch terénu po odpalu 300kg trhaviny ve 4 vrtech v kamenolomu Mokrá (30. 6. 2008, 18h10m00s)

V uvedených kamenolomech, ve kterých se provádí trhací práce velkého rozsahu, nedošlo k neobvyklému narušení okolí lokality provádění těžebních prací velkého rozsahu. Pro možnost odpálení náloží trhavin byly připraveny vrty tak, aby při uložení maximálně 400 kg trhavin do vrtů byla ucpávka vrtů dlouhá minimálně 6 m. Podle místních podmínek byly na uvedených lomech připraveny vždy 2 nebo 4 vrty o minimální hloubce 12 m a pro dosažení maximálního možného vyplnění vrtů a koncentrace energie ve vrtech byla, s výjimkou lomu Stráž nad Ohří, kde nebylo možné využít mechanizované nabíjení trhavin, zvolena trhavina s vyšší náložovou hustotou a tekuté konzistence – emulsní trhavina Emsit. Na lomu Stráž nad Ohří byla použita klasická náložová želatinová trhavina Poladyn. Pro zajištění současnosti odpálení všech náloží při současném zajištění vysoké bezpečnosti oproti v tomto období možným bouřkám či jiným možným zdrojům „cizí“ elektrické energie byl zvolen neelektrický roznětný systém IndetShock se stejně dlouhými rozbuškami na dnech vrtů které byly současně iniciovaly „povrchovou“ rozbuškou Surface stupeň 0.

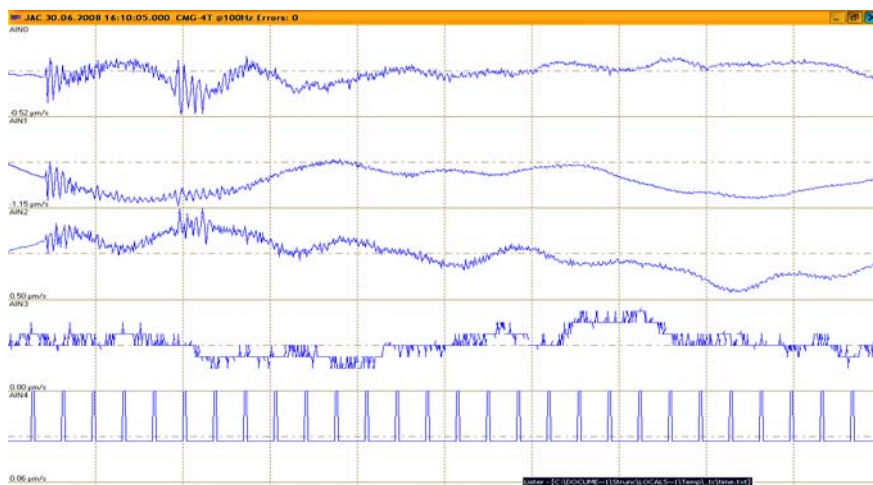
Mimo již uvedené odchylky na lomu Stráž nad Ohří, kde nebylo možno použít nabíjecí vůz a kde pro blízkost významného zdroje minerálních vod (Korunní) nebylo možné současně odpálit větší množství trhavin, se od výše uvedeného standardu odchýlil i odstfel na lomu Horní Tašovice, kde před započítáním nabíjení trhavin došlo k částečnému zneprístupnění jednoho z připravených vrtů a bylo sníženo množstvím trhavin.

Lokalita	Počet vrtů /záběr	Hloubka vrtu (m)	Délka vrtů (bm)	Emsit (kg)	Poladyn (kg)	Semtex (kg)
Mokrá	4	12	48	320	0	2
Horní Tašovice	2	20	40	110	0	1
Stráž nad Ohří	4	12	48	0	175	0
Úhošťany	4	20	80	300	0	2
Krásno	8	15	120	1900		
Celkem	24	79	216	2630	175	5

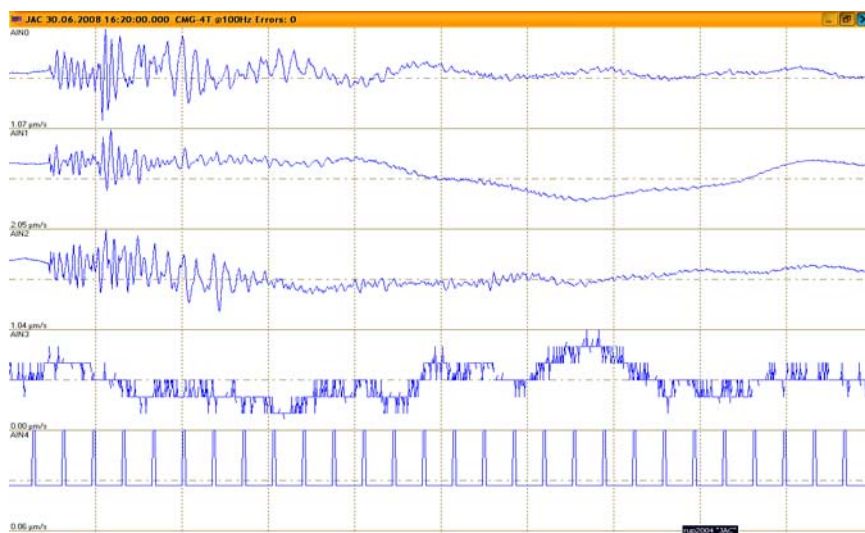
Z hlediska seismologie se jednalo o významné uměle buzené lokální seismické jevy, které byly zaznamenány na značném území České republiky jak národní seismickou sítí provozovanou Geofyzikálním ústavem AV ČR, v.v.i., tak byla sledována i jejich seismická odezva i na vzdálenějších seismických stanicích – JAC Svornost, NEC Nečtiny, KMH Komorní Hůrka. Tato vyhodnocení poslouží i pro zpřesnění provádění lokací těžebních odpadů v kamenolomech ČR. To je umožněno určením již uvedeného času odpalu v místech explozí kdy vzdálenost seismického snímače je cca 10-15m od odpalu. Vzhledem k náročnosti zpracování velkého množství seismických paprsků, však nebylo možné komplexní výsledky těchto měření zahrnout do této stati. Prvním výsledkem seismického vyhodnocení provedených profilových měření jsou hodnoty

naměřených časů a amplitud rychlosti seismických vln s údajem o převládající frekvenci seismického signálu.

Z hlediska nepříznivých seismických účinků se jedná o velmi slabé povrchové odpaly, které jsou určeny pouze pro seismické prozařování poměrně mělkých partií zemské kůry. Pro ukázkou uvádíme záznamy dvou odpalů, jak byly zaregistrované podzemní seismickou stanicí JAC. Tyto jsou uvedeny na následujících obr. 7 a obr. 8.



Obr. 7 Seismický záznam odpalu na seismické stanici JAC v Jáchymově dne 30.6.2008 v 16h10m00s – kamenolom Mokrá (světový čas)



Obr. 8 Seismický záznam odpalu v kamenolomu Stráž nad Ohří na stanici JAC v Jáchymově dne 30.6.2008 v 16h 20m 00s (světový čas)

Vyhodnocení a zpracování měření (Valenta)

Na seismogramech byly odečteny časy příchodů P-vln, odečet příchodů S-vln nebylo možné použít neboť byly na záznamech příliš slabé.

a) 2D zpracování

Zpracování dat ve 2D (po profilech) bylo provedeno metodou t_0 , která je jednou z inkarnací metody vstřícných hodochron. Tato metoda používá vrstevnatý 2D model prostředí se skokovou změnou rychlostí na rozhraních.

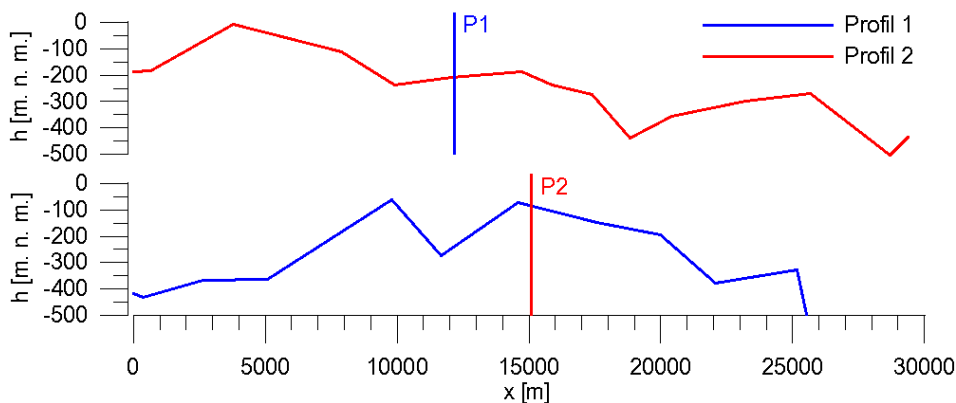
Výsledkem zpracování je hloubka refrakčního rozhraní a rychlosti na něm. To je definováno rychlostí na povrchu spodní vrstvy prostředí.

Na následujícím obr. 9 jsou uvedeny hloubky refrakčního rozhraní pro jednotlivé profile s $10\times$ převýšením. Povrch refrakčního rozhraní je zobrazen jako skutečné nadmořské výšky rozhraní. Nadmořská výška povrchu na jednotlivých profilech se pohybuje mezi 600 – 800 metry nad mořem.

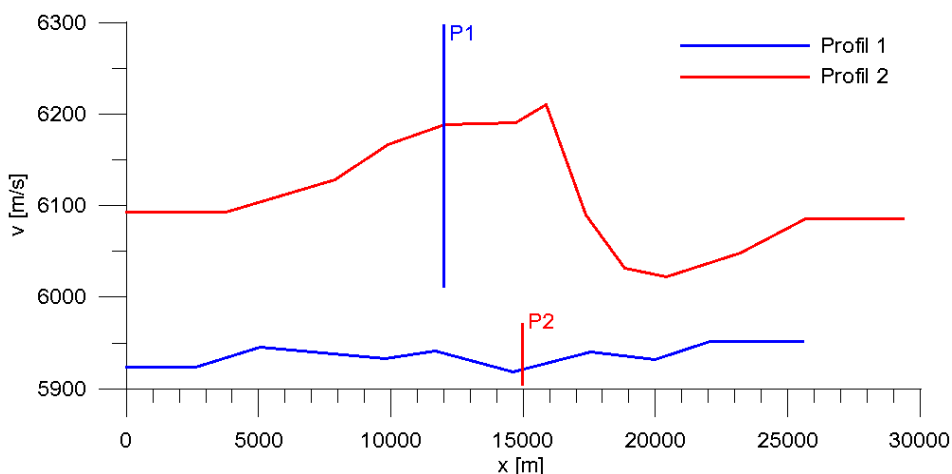
Určení hloubek refrakčního rozhraní je v této metodě mírně problematické, pokud rychlosti v nadložní vrstvě nejsou dobře známy. V tomto konkrétním případě byly interpolovány z rychlostí zjištěných v okolí bodů odpalů a interpolovány po profilech. K největším chybám v určení rychlostí proto nutně dochází ve středu profilů v okolí jejich křížení. Hloubky rozhraní jsou zde proto určeny pouze přibližně.

Seismické rychlosti na povrchu podložní vrstvy jsou naproti tomu určeny poměrně spolehlivě. Tomu napovídá relativně „klidný“ a hladký průběh rychlostních křivek (obr. 10). Z rychlostních křivek je patrný systematický rozdíl v rychlostech na jednotlivých profilech, kdy rychlosti na profilu kolmém ke směru struktur oherského riftu (profil P1) jsou rychlosti o cca 4–5% nižší, než na profilu paralelním.

Pokles rychlostí na profilu P2 v rozsahu metrů až 20km může být způsoben přítomností permokarbonu v podloží vulkanitů.



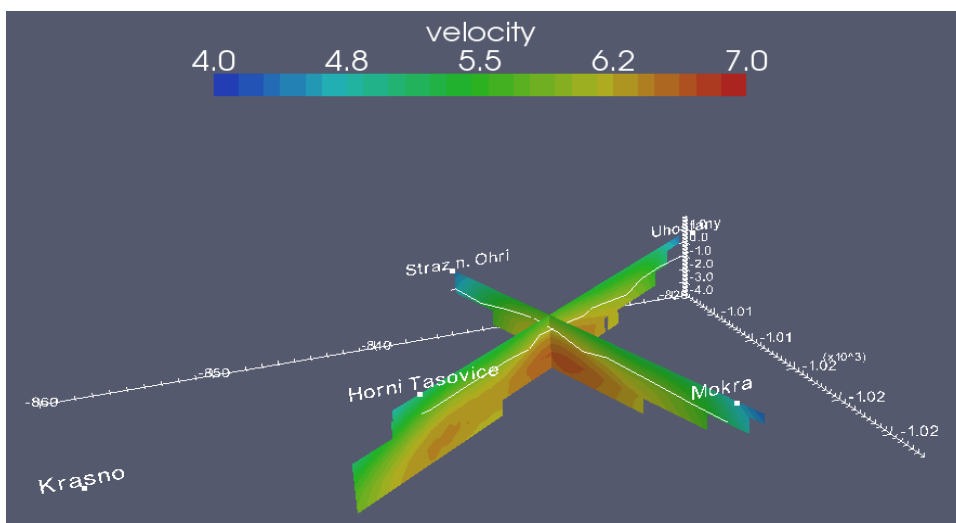
Obr. 9 Hloubky refrakčního rozhraní P1 a P2. Nadmořská výška povrchu na jednotlivých profilech se pohybuje mezi 600–800 metry nad mořem.



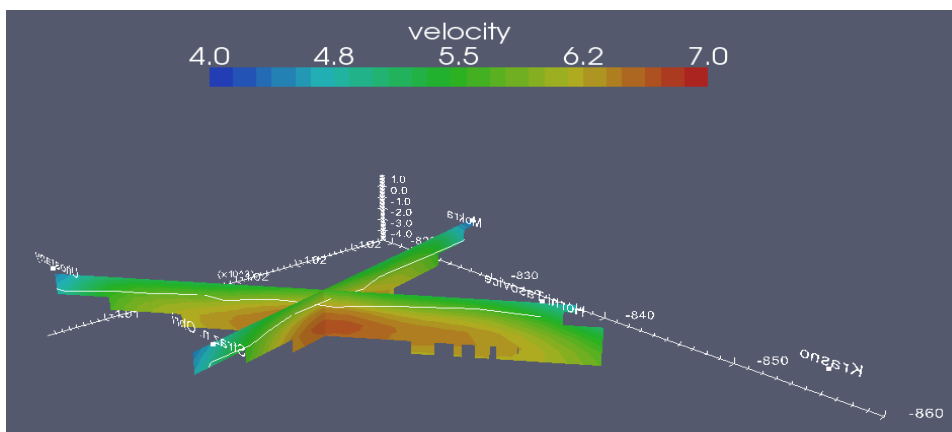
Obr. 10 Hraniční rychlosti na jednotlivých profilech. Systematický rozdíl v rychlostech může být způsoben anizotropií rychlostí prostředí.

b) 3D zpracování

Zpracování dat v 3D seismické tomografii z povrchu, bylo provedeno pomocí programu PStomo_eq (Ari Tryggvason). Tento program používá gradientový 3D model prostředí, jedná se o model s plynulou změnou rychlostí, tzv. hladký model. Model je složen z buněk o rozměrech $1 \times 1 \times 1$ km ve kterých je konstantní rychlost. Zobrazení výsledku podle tohoto modelu je uvedeno na obr. 11 a obr. 12.



Obr. 11 Profily P1 a P2 v tomografickém 3D zobrazení. Bílá linie na řezech znázorňuje průběh seismického rozhraní podle metody t_0 . Měřítka os je v Křovákových souřadnicích dělené tisícem (tedy v kilometrech). Vertikální měřítko je v kilometrech nad/pod hladinou moře.



Obr. 12 Profily P1 a P2 v tomografickém 3D zobrazení. Bílá linie na řezech znázorňuje průběh seismického rozhraní podle metody t_0 . Měřítko os je v Křovákových souřadnicích dělené tisícem (tedy v kilometrech). Vertikální měřítko je v kilometrech nad/pod hladinou moře.

Tomografický model ukazuje přítomnost vysokorychlostního tělesa v podloží Doupovských hor. Těleso má mocnost cca dva kilometry a jeho horní hranice leží v hloubce okolo jednoho kilometru pod mořem. Nadmořské výšky nejvyšších vrcholů Doupovských hor mírně přesahují 900 metrů nad mořem, hloubka tohoto tělesa je tedy méně než dva kilometry pod dnešním povrchem.

Zjištěné těleso je nejspíše tělesem bazických hornin, které se vyznačují zvýšenými hodnotami seismických rychlostí. V tomto konkrétním případě jde buď o těleso tercierních vulkanitů a nebo o horniny ekvivalentu mariánskolázeňského komplexu. Druhá možnost se, vzhledem k dalším výsledkům probíhajícího geologického průzkumu jeví jako pravděpodobnější.

Závěr

Provedení refrakčních seismických profilů v oblasti Doupovských hor přispěje k rozšíření poznatků o rozložení a hloubce jednotlivých partií tohoto podzemního vulkanického tělesa. Přínosem je i poznatek o možnosti realizace takovýchto projektů s použitím poměrně malých nákladů avšak za předpokladu dokonalé organizace projektu a vysokého nasazení všech experimentátorů. Při dalším zpracování pak bude možné výsledky seismiky korelovat i s mapami Bouguerových anomálií a zaměřit se na vytypovaná místa v oblasti s dalším výzkumem.

Je možné konstatovat, že pod Doupovskými horami se nachází vysokorychlostní těleso formované nejspíše bazickými horninami. V současné době ještě není zcela zřejmé, zda se jedná o tercierní vulkanické těleso (jehož vznik by přímo souvisel s vulkanickou aktivitou Doupovských hor) a nebo spíše o horniny ekvivalentu mariánskolázeňského bazického komplexu.

Poděkování za významnou pomoc a nasazení patří vedení společnosti Kamenolomy ČR, Tramag a.s., KMK Granit Krásno a pracovníkům těchto kamenolomů. Dále pak společnosti Vrtné a trhačí práce, a.s. společnosti Explosia a.s. a společnosti ARCADIA- Geotechnika a.s. i za finanční podporu projektu.

Seismický projekt výzkumu stratovulkánu Doupovské hory byl řešen v rámci podpory grantového projektu Grantové agentury AV ČR č. A300460602 "Model svrchní kůry oharského riftu a jeho okolí".

Literatura

- [1] CAJZ, V. Současný stav poznatků o oharském riftu. *Essentia*, 2004, 33/2003.
- [2] TRYGGVASON, A. & LINDE, N. Local earthquake (LE) tomography with joint inversion for P- and S-wave velocities using structural constraints. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33, L07303.
- [3] GRAD, M., ŠPIČÁK, A., KELLER, G. R., GUTERCH, A., BROŽ, M., HEGEDIS, E., and working grup SUDETES 2003 Seismic Experiment. *Studia Geophys Geod.*, 2003, 47 (2003), pp. 681-690.
- [4] VAVRYČUK, V., HRUBCOVÁ, P., BROŽ, M. & MÁLEK, J. Azimuthal variation of Pg velocity in the Moldanubian, Czech Republic: Observations based on a multi-azimuthal common-shot experiment. *Tectonophysics*, 2004, 387(2004), pp. 189-203.
- [5] MÁLEK, J., BROŽ, M., JANSKÝ, J. & NOVOTNÝ, O. Výzkum stavby svrchní zemské kůry pomocí lomových odpalů. Přednáška KG MFF UK, 21.11.2003.
- [6] BROŽ, M., BROKEŠOVÁ, J., MÁLEK, J., NOVOTNÝ, O., ŠTRUNC, J. & ŽANDA, L. Determination of the upper crustal structure using seismic waves from quarry blasts. In *Proc. EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, Nice France, 06-11 April 2003. Poster, SM6.
- [7] BROŽ, M., STRUNC, J., ŽANDA, L., MALEK, J. & ČERMÁK, L. Použití záznamníku BR3 při seismických profilech. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO*, 2003, Ostrava.
- [8] BROŽ, M. & ŠTRUNC, J. 21-bite A/D converter with USB port for seismic measurement – Technical description. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO*, 2004, Ostrava, pp. 63-64.
- [9] NOVOTNY, M., HRUBCOVA, P., KAROUSOVA, O., RUZEK, B., SPICAK, A., BROZ, M. & MALEK, J. Tomographic sections of Bohemian Massif on SUDETES 2003 refraction line. In *CONFERENCE – WORKSHOP GEODYNAMICS OF CENTRAL EUROPE*. Zakopane, Poland: 29 May – 3 June 2005.
- [10] STRUNC, J. & BROZ, M. RUP2004 – High Definition Apparatus for Standalone, Network and Micro-Array Applications in Seismology. *Transactions of the VSB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, 2006, vol. 6, no. 2, pp. 282-284.
- [11] BROZ, M., STRUNC, J. & TESITEL, M. Monitoring of Seismic Effects of Blasts at Quarries and Mines. In *Blasting Technics and Pyrotechnic 2006*, Czech Association of Scientific and Technical Societies, Association for Blasting Technology and Pyrotechnics, Prague.
- [12] RUDAJEV, V., BUBEN, J., BROŽ, M., MÁLEK, J., ŠTRUNC, J., ŽANDA, L. & ŽIVOR, R. Experimental Determination of Acceleration Decay of Seismic Vibrations in the Bohemian Masif. *Acta Geodyn. et Geomat.*, 2006, AB No.15, pp. 49-56.

Oponentský posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc., Univerzita Karlova Praha, Přírodovědecká fakulta